

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА “ЖИДКОСТЬ-ГАЗ”

Д.В. Феоктистов, Е.Г. Орлова, Д.С. Меньшиков
Томский политехнический университет
ЭНИН, ТПТ

В настоящее время развитие отраслей (металлургии, микроэлектроники и др.) идет по пути роста энергонасыщенности оборудования [1-3]. Одной из проблем техники данных областей производства является создание систем обеспечения теплового режима работы оборудования [4, 5]. Решение последней возможно созданием энергоэффективных систем, работа которых основана на фазовых переходах [5-7].

Разработка теоретических положений процессов кипения и испарения ведется давно многими научными коллективами разных стран. Однако до настоящего момента они не разработаны на уровне прогностического моделирования. Так, например, еще в начале XX века велась работа [8] по определению температуры на поверхности раздела фаз “жидкость-газ”. Но в настоящее время отсутствуют аналитические выражения по ее определению, которые возможно использовать при создании теплообменных устройств. Существующие зависимости, как правило, включают переменные, физически которые очень сложно определить. Также отсутствуют экспериментальные данные, подтверждающие наличие температурного перепада на поверхности раздела фаз “жидкость-газ”.

Целью настоящей работы является экспериментальное определение наличия и величины перепада температуры на поверхности раздела фаз жидкость-воздух с помощью термопары с диаметром королька 80 мкм и линейного актуатора.

Экспериментальные исследования проведены на установке [9], моделирующей условия процессов кипения и испарения тонких слоев жидкости. Принцип её действия и методика проведения исследований приведены в [9].

Основные факторы воздействия приведены в таблице 1.

Табл. 1. Основные факторы воздействия

Фактор	Значение факторов		
Жидкость	Этиловый спирт	Дистиллированная вода	3M™ Novec™ 7100 Engineered Fluid, метокси-нонафторбутан
Материал подложки	фторопласт, диаметр – 50 мм, толщина 5 мм		

Наличие перепада температур на поверхности раздела фаз будет свидетельствовать о наличии термического сопротивления на поверхности жидкости. В случае если последнее присутствует, необходимо учитывать неравенство коэффициентов испарения и конденсации при расчетах данных процессов.

Эксперименты по измерению температурного распределения поперек слоя в системе жидкость-воздух проводились с помощью откалиброванной

термопары типа К (Omega) с диаметром королька термопары 80 мкм. По всей поверхности рабочего участка осуществлялся нагрев, за счет чего образовывался поток паров воды с поверхности жидкости. Исследовался один стационарный режим при температуре поверхности материала 55 °С. Начальный объем жидкости, размещаемый на поверхности подложки, составлял 3,5 мл. Данному объему соответствует толщина слоя жидкости в 1,5 мм. Так как фторопласт является изоляционным материалом, температура подложки при испарении жидкости оставалась постоянной.

Поскольку использовались легкоиспаряющиеся жидкости, конвекция, конденсация и испарение с поверхности термопары оказывали значительное влияние на результаты проведения исследований. Даже для дистиллированной воды конденсация капель жидкости на термопаре приводила к колебаниям регистрируемой температуры. На рисунках 1-2 приведены типичные зависимости температуры, регистрируемой термопарой в условиях прохождения через поверхность раздела фаз в процессе испарения жидкости. По оси абсцисс (рис. 1-2) отмечено положение термопары. Отметка 0 соответствует моменту, когда происходило касание термопары поверхности раздела фаз.

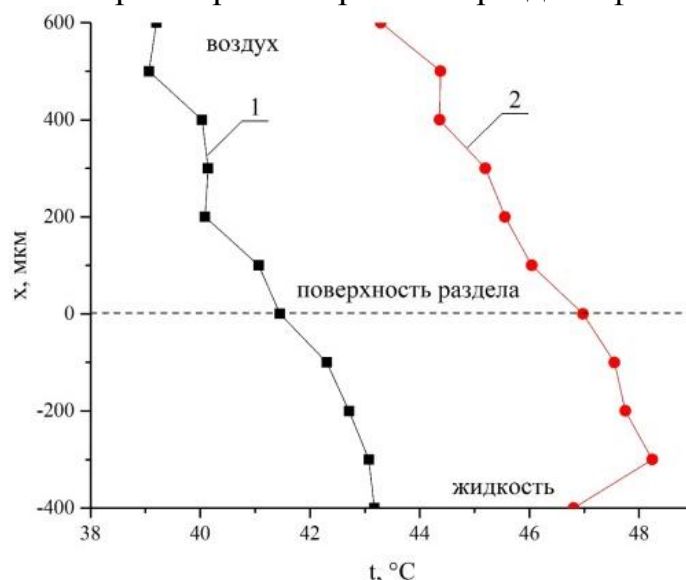


Рис. 1. Зависимость температуры от положения термопары в вертикальной плоскости по отношению к поверхности раздела “жидкость-воздух” при испарении дистиллированной воды (2 мл) с поверхности подложки из фторопласта и температуре нагревательного элемента: 1 – 60 °С, 2 – 80 °С.

Результаты при использовании этилового спирта и жидкости HFE 7100 не приводятся, так как они имеют аналогичный характер зависимости.

Установлено, что температура воздуха и жидкости вблизи поверхности раздела “жидкость-газ” изменяется колебательно. Причем на расстоянии ± 80 мкм (соответствует толщине королька термопары) от нее не зарегистрировано “скачков” температуры. Колебательный характер температуры можно объяснить следующим. При дозировании жидкости на поверхность прогревается слой, расположенный на поверхности нагрева. Возникает градиент температуры, направленный от поверхности раздела фаз, а также градиент плотности. Последнее приводит к конвекции жидкости Рэлея-Бинара (конвекция в плоском

горизонтальном слое жидкости или газа, подогреваемом снизу). При такой конвекции пространственные и временные эффекты в значительной степени расцеплены из-за отсутствия интенсивного потока, навязанного внешними условиями. Верхний более холодный слой жидкости опускается вниз, прогретый поднимается на поверхность. Очевидно, что циркуляция жидкости оказывает влияние на движение воздуха вблизи поверхности раздела, чем вызвано колебательное изменение температуры воздуха.

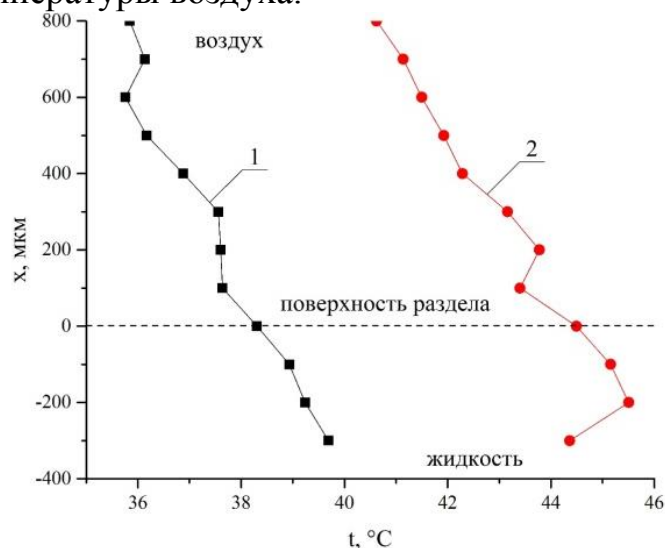


Рис. 2. Зависимость температуры от положения термопары в вертикальной плоскости по отношению к поверхности раздела “жидкость-воздух” при испарении дистиллированной воды (4 мл) с поверхности подложки из фторопласта и температуре нагревательного элемента: 1 – 60 °С, 2 – 80 °С.

Стоит отметить, что вблизи поверхности раздела фаз толщина слоя, в котором может происходить быстрое изменение термодинамических параметров (температуры и давления) мала. При нормальных условиях (атмосферное давление) в которых проводился эксперимент, эта величина составляет 1 мкм для паров воды. Таким образом, для дальнейшего решения проблемы определения термодинамических параметров на поверхности раздела фаз и их влияние на процесс испарения и конденсации необходимо проведение экспериментальных исследований с применением термопар диаметр королька которых не должен превышать 10 мкм.

По результатам серии экспериментов выявлено, что при движении термопары к поверхности раздела фаз на ней образуется слой конденсата. Последний влиял на регистрируемые параметры. Сделан вывод, что для повышения точности измерения температуры поверхности раздела фаз необходимо использовать термопару, в которой электроды будут располагаться горизонтально (“телескопически”). Такое расположение электродов будет соответствовать изотермам поверхности раздела “жидкость-газ” и позволит уменьшить утечки тепла, связанные с градиентом температур по электродам термопар. Также это позволит уменьшить толщину слоя конденсата образующегося на поверхности термопары.

Работа поддержана грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (МК-6810.2016.8).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Чиннов Е.А., Кабов О.А. Особенности двухфазного течения в прямоугольном микроканале // Письма в Журнал технической физики. – 2010. – Т. 36. – № 10. – С. 52-58.
2. Кузнецов Г.В., Феоктистов Д.В., Орлова Е.Г. Испарение капель жидкостей с поверхности анодированного алюминия // Теплофизика и аэромеханика. – 2016. – Т. 23. – С. 17-22.
3. Накоряков В.Е., Мисюра С.Я., Елистратов С.Л. Особенности испарения капель воды на нагреваемой поверхности // Доклады академии наук. – 2013. – Т. 448. – № 3. – С. 293.
4. Kuznetsov G.V., Zakharevich A.V., Bel'kov N.S. Effect of heat-transfer conditions on the ignition characteristics of liquid fuel // Chemical and Petroleum Engineering. – 2014. – V. 50. – PP. 424-429.
5. Glushkov D.O., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Influence of radiative heat and mass transfer mechanism in system water droplet - high-temperature gases on integral characteristics of liquid evaporation // Thermal Science. – 2015. – V. 19. – PP. 1541–1552.
6. Lyulin Y., Kabov O. Evaporative convection in a horizontal liquid layer under shear-stress gas flow // Int. Journal of Heat and Mass Transfer. – 2014. – V. 70. – PP. 599-609.
7. Кузнецов Г.В., Феоктистов Д.В., Орлова Е.Г., Батищева К.А. Режимы испарения капли воды на медных подложках // Коллоидный журнал. – 2016. – Т. 78. – №3. – С. 335-339.
8. Thomas N., Ferguson A. Evaporation from a Circular Water Surface // Philos. Mag. – 1917. – V.34. – PP. 309–321.
9. Velicanov V.D., Orlova E.G., Saigash A.S., Korneva O.S. Experimental observation of the temperature at the liquid/gas interface // MATEC Web of Conference. – 2016. – V. 72. – 01028.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ФУНДАМЕНТНОГО ОСНОВАНИЯ РЕЗЕРВУАРА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

О.В. Степанова, В.И. Максимов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ТПТ, группа 5ФМ61

Введение

Хранилища сжиженного природного газа имеют различную конструкцию, форму и размеры. Для экономичного и безопасного хранения сжиженного